

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-156667

(P2002-156667A)

(43)公開日 平成14年5月31日(2002.5.31)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームコード\*(参考)

G 0 2 F 1/313

G 0 2 F 1/313

2 H 0 7 9

G 0 2 B 6/293

1/01

C 2 K 0 0 2

G 0 2 F 1/01

G 0 2 B 6/28

B 5 K 0 0 2

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

U

H 0 4 J 14/00

E

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-353479(P2000-353479)

(22)出願日 平成12年11月20日(2000. 11. 20)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 泉 太

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 森 昌太

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100092978

弁理士 真田 有

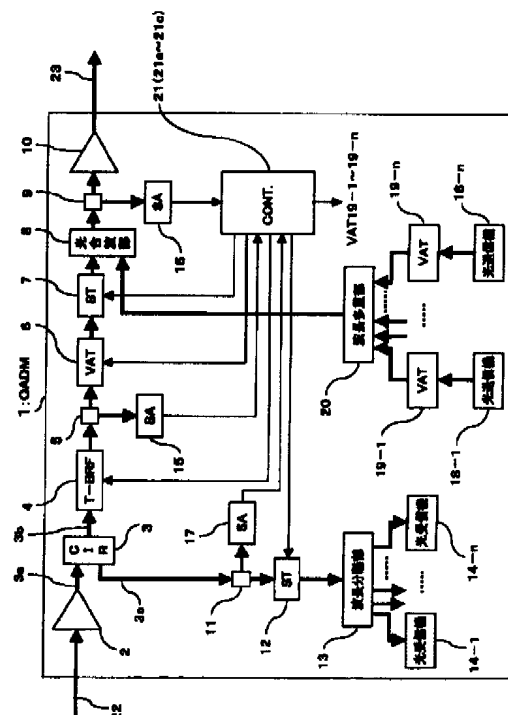
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光分岐/挿入装置

(57)【要約】

【課題】 低損失で、しかも、アド/ドロップ波長（特に、ドロップ波長）に変更が生じてもブラッグ反射フィルタなどの光反射デバイスの交換や増設/減設を要することなく、波長多重光信号から任意波長の光を自由に選んでドロップすることのできる、光分岐/挿入装置を実現する。

【解決手段】 入力された波長多重光に対する反射波長が可変の反射波長可変型光反射部4と、この反射波長可変型光反射部4による反射光を波長多重光の分岐光として取り出す光分岐部3と、この反射波長可変型光反射部4で反射されずに通過してきた通過光に、上記の分岐光に対応する波長の光を挿入光として付加する光挿入部8と、光分岐対象の波長に応じて反射波長可変型光反射部4の反射波長を制御する反射波長制御部21aとをそなえるように構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力された波長多重光に対する反射波長が可変の反射波長可変型光反射部と、  
該反射波長可変型光反射部による反射光を該波長多重光の分岐光として取り出す光分岐部と、  
該反射波長可変型光反射部で反射されずに通過してきた通過光に、該分岐光に対応する波長の光を挿入光として付加する光挿入部と、  
光分岐対象の波長に応じて該反射波長可変型光反射部の反射波長を制御する反射波長制御部とをそなえたことを特徴とする、光分岐／挿入装置。

【請求項 2】 該反射波長可変型光反射部が、それぞれ該波長多重光に対する反射波長が可変で該波長多重光の波長多重数に応じた複数の可変光反射デバイスが相互に直列接続されて構成されるとともに、  
該反射波長制御部が、該光分岐対象の波長に対応する可変光反射デバイスの反射波長を該光分岐対象の波長に制御するように構成されたことを特徴とする、請求項 1 記載の光分岐／挿入装置。

【請求項 3】 該可変光反射デバイスが、それぞれ、非電圧印加時において同じ反射波長を有し、印加電圧に応じて該反射波長が変更される可変ブラッグ反射フィルタとして構成されるとともに、  
該反射波長制御部が、  
非光分岐時において該可変ブラッグ反射フィルタの該反射波長がそれぞれ該波長多重光の異なる波長間に位置し、光分岐時において該光分岐対象の波長を含む波長間に該反射波長が位置する可変ブラッグ反射フィルタに電圧を印加して該反射波長を該光分岐対象の波長に変更するように構成されていることを特徴とする、請求項 2 記載の光分岐／挿入装置。

【請求項 4】 該光分岐部からの該分岐光を入力とし、該反射波長可変型光反射部での該可変光反射デバイスの接続順に応じて決まる該反射波長可変型光反射部がもつ反射位置特性とは逆の反射位置特性をもった逆光反射部が設けられたことを特徴とする、請求項 2 又は請求項 3 に記載の光分岐／挿入装置。

【請求項 5】 該光分岐部からの該分岐光、該反射波長可変型光反射部を通過した通過光及び該光挿入部からの波長多重光のうちの一部もしくは全てのスペクトルをモニタするモニタ手段が設けられるとともに、  
該反射波長制御部が、  
該モニタ手段でのスペクトルモニタ結果に基づいて該反射波長の制御を行なうように構成されたことを特徴とする、請求項 2～4 のいずれか 1 項に記載の光分岐／挿入装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、WDM 光伝送システムに用いて好適な光分岐／挿入装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、大容量の光伝送手段として知られる波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiple x) 技術を利用した通信装置 (以下、WDM 装置といたり、ノードといたりする) がネットワークの中に組み込まれ、増加し続ける通信需要に見合う能力が得られつつある。

【0003】 このような WDM 技術を利用したネットワーク (WDM 光伝送システム) では、通常、波長多重された光のうち、任意の 1 つあるいは複数の波長 (チャンネル) を選んで分離 (ドロップ) したり多重 (アド) したりすることのできる光アド／ドロップ装置 (OADM: Optical Add Drop Multiplexer) や任意波長の光を任意の方路へスイッチすることのできる光クロスコネクタ装置 (OXC: Optical Cross-Connect) が必要になる。

【0004】 ここで、例えば、OADM は図 21 に示すような構成が採られる。即ち、受信した WDM 光信号を光アンプ 101 にて増幅し、増幅後の WDM 光信号を光分離部 102 にてスルーする光とドロップする光とに分離し、スルーする光をさらにアドする光と光多重部 103 にて波長多重し、光アンプ 104 で増幅して送信するという構成である。

【0005】 このように常に予め定められた波長をドロップ、または、アドする光デバイス (光分離部 102 や光多重部 103) は比較的簡単に実現できるので、予めノードにおいて使用する波長を計画的に割り当ててネットワークを構成すれば問題ない。しかし、もし、ネットワークを構築した後に、通信需要の変化などによって、必要な波長数が予め定めた波長数で足りなくなったり、ドロップ (スルー) 光波長を変更しなければならなくなったりした場合には、光デバイスの増設や交換が必要になる。

【0006】 このような場合、そのノード以外のノード間の通信に供している波長 (スルー光波長) を一旦切断状態にせざるを得なくなってしまう、たった 1 カ所の変更 (工事) がネットワーク全体に大きな影響を与えることになる。また、この場合、回線を移転して工事を行なう必要があるが、WDM 装置は、1 本の光ファイバで大量の情報を通信するため、移転するにも莫大な費用／設備を必要とする。

【0007】 このため、任意の波長のアド／ドロップを他の波長に影響を与えることなくダイナミックに変更できる OADM の要求が高まっている。なお、以上述べたことは、OXC についても同様である。そこで、最近では、例えば図 22 に示すように、受信端ノード 100 と送信端ノード 200 との間 (TERM-TERM 間) のバック・ツー・バックで OADM を行なう方法が考えられている。

【0008】 即ち、現状では、任意の波長を選んでその

## 3

波長のみを分離するような光デバイスが実現できないので、受信端ノード100において、WDM光信号の全波長を光導波路型(AWG: Arrayed Wave Guide)フィルタ113などによって分離し、その段階で波長毎に光スイッチ114によりスルーするかドロップするかを選択し、送信端ノード200において、波長毎に光スイッチ211によりスルーするかアドするかを選択し、AWGフィルタ212などによって各波長の光を波長多重することで、OADMと同等の機能を実現する方法である。

【0009】なお、この図22において、符号111(214)は、受信(送信)WDM光信号を増幅する光アンプ、符号112(213)は、通常、10Gbps(ギガビット/秒)以上の変調速度で変調されたWDM光信号を伝送する場合に設けられて、WDM光信号の波長分散を補償するための分散補償ファイバ(DCF: Dispersion Compensation Fiber)をそれぞれ表わす。

【0010】しかしながら、このように波長多重された全ての波長を1波毎に分離して、光スイッチ114(211)で選択する方法では、AWGフィルタ113(212)での損失(挿入損失)が大きく、また、波長毎に光スイッチ114(211)を挿入する必要があるため、挿入損失がさらに大きくなるばかりでなく装置規模も大規模になる。DCF112(213)を設けた場合は、さらに、挿入損失が大きくなる。特に、光伝送路にシングルモードファイバ(SMF)を用いている場合には、分散補償量の大きいDCF112(213)が必要なのでロスも大きくなる。

【0011】このような場合、全体の挿入損失は、16dB以上になるため、光アンプ111、214間で補償しなければならないゲインが非常に大きくなる。このため、光アンプ111には、大きな利得を得るために高出力の励起レーザが複数必要になり、非常に不経済である。また、各波長の光は、それぞれ、AWGフィルタ113(212)や光スイッチ114(211)を通過することにより、それぞれ独立した別々の光導波路及び光学経路を経由して再多重されるため、スルー方向の光パワーに関しては均一な損失による減衰を期待できない。

【0012】このため、再多重される光に波長毎の損失差(チルト)が発生することになり、均一な光伝送(損失)特性ではなく、各波長で偏った(波長依存性の)伝送(損失)特性をもつことになる。特に、上述したような構成のノードを複数経路するような場合には、上記チルトが累積して増大する可能性が高くなるので、或る波長(チャンネル)では問題ない伝送距離でも、他の波長ではエラーが発生するといった現象が生じてしまうことになる。

【0013】そこで、従来は、例えば特開平9-243957号公報などによって提案されているように、ブラッグ反射フィルタと光サーキュレータとを用いて、OADMを実現することも考えられている。即ち、例えば図

(3)

特開2002-156667

## 4

23に示すように、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光をそれぞれアド／ドロップすることを想定した場合、光サーキュレータ301、302、ブラッグ反射フィルタ321~324及びアイソレータ325をそなえてOADM300が構成される。なお、「ブラッグ反射フィルタ」とは、光導波路に特定の波長の光のみが高効率で反射するようグレーティングを形成したもので、非常に挿入損失が低いことが知られている。

【0014】ここで、上記の光サーキュレータ301は、端子301aからの入力光(WDM光)を端子301bへ出力する一方、端子301bからの入力光を端子301cへ出力する特性をもったものであり、光サーキュレータ302は、端子302aからの入力光を端子302bへ出力する一方、端子302bからの入力光を端子302cへ出力する特性をもったものである。

【0015】また、ブラッグ反射フィルタ321、323は、それぞれ、波長 $\lambda_1$ の光のみを反射すべくグレーティングが形成されたものであり、ブラッグ反射フィルタ322、324は、それぞれ、波長 $\lambda_2$ の光のみを反射すべくグレーティングが形成されたものであり、アイソレータ325は、逆(光サーキュレータ302→301)方向への光の伝播を阻止する特性をもったものである。

【0016】上述のごとく構成されたOADM300でのアド／ドロップ動作は次のようになる。即ち、一方(ドロップ用)の光サーキュレータ301の端子301aへの入力光(WDM光)は、端子301bへ出力されてブラッグ反射フィルタ321、322へ導かれ、それぞれにおいて波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光が反射される。この反射光は、光サーキュレータ301の端子301bに再入力され、端子301cへ出力されてドロップ光として出力される。

【0017】一方、他方(アド用)の光サーキュレータ302の端子302aに入力された波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のアド光は、端子302bへ出力されてブラッグ反射フィルタ324、323に導かれ、それぞれにおいて反射されて端子302bへ戻る。これにより、この反射光は、ブラッグ反射フィルタ321~324で反射されずに同じ光学経路を通過してきた光(スルー光)と光サーキュレータ302にて合波されて、端子302cから出力される。

【0018】さて、ここで、上記のブラッグ反射フィルタ321、322で全ての波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の成分を反射できなかった場合、その漏れ成分が光サーキュレータ302側へ伝播することになるが、ブラッグ反射フィルタ323、324で再度反射されてアイソレータ325へ入力される。この結果、上記漏れ成分はアイソレータ325にて消失する。同様に、アド光のブラッグ反射フィルタ323、324での漏れ成分についてもアイソレータ325にて消失する。

## 5

【0019】このように、従来のOADM300では、低挿入損失のブラッグ反射フィルタ321～324と光サーキュレータ301、302とを用いることにより、AWGフィルタ113(212)や光スイッチ114(211)を用いる場合に比して挿入損失を大幅に低減することができ、また、スルー光の光学経路が各波長で同じなのでスルー光にチルトも発生しない。さらに、この場合は、アイソレータ325により、ドロップ光(アド光)の漏れ成分のアド光(ドロップ光)に対する干渉も抑制されるので、OADM300の伝送特性を向上することができ、

## 【0020】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来のOADM300でも、通信需要の変化によりアド/ドロップ波長に変更が必要な場合には、ブラッグ反射フィルタを交換したり増設あるいは減設したりする必要がある。このため、やはり、スルー光を一旦切断状態にせざるを得なくなってしまう、1カ所の変更(工事)がネットワーク全体に大きな影響を与えてしまうという課題は残ることになる。

【0021】本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、低損失で、しかも、ドロップ波長(分岐光波長)に変更が生じてもブラッグ反射フィルタなどの光反射デバイスの交換や増設/減設を要することなく、波長多重光から任意波長の光を自由に選んでドロップすることのできる、光分岐/挿入装置を提供することを目的とする。

## 【0022】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明の光分岐/挿入装置(請求項1)は、入力された波長多重光に対する反射波長が可変の反射波長可変型光反射部と、この反射波長可変型光反射部による反射光を該波長多重光の分岐光として取り出す光分岐部と、この反射波長可変型光反射部で反射されずに通過してきた通過光に、該分岐光に対応する波長の光を挿入光として付加する光挿入部と、光分岐対象の波長に応じて上記の反射波長可変型光反射部の反射波長を制御する反射波長制御部とをそなえたことを特徴としている。

【0023】ここで、上記の反射波長可変型光反射部は、それぞれ該波長多重光に対する反射波長が可変で該波長多重光の波長多重数に応じた複数の可変光反射デバイスが相互に直列接続されて構成され、上記の反射波長制御部が、該光分岐対象の波長に対応する可変光反射デバイスの反射波長を該光分岐対象の波長に制御するように構成されていてもよい(請求項2)。

【0024】また、上記の各可変光反射デバイスは、それぞれ、非電圧印加時において同じ反射波長を有し、印加電圧に応じて該反射波長が変更される可変ブラッグ反射フィルタとして構成されるとともに、上記の反射波長制御部は、非光分岐時において上記可変ブラッグ反射フ

## 6

ィルタの反射波長がそれぞれ上記波長多重光の異なる波長間に位置し、光分岐時において上記光分岐対象の波長を含む波長間に反射波長が位置する可変ブラッグ反射フィルタに電圧を印加してその反射波長を上記光分岐対象の波長に変更するように構成されていてもよい(請求項3)。

【0025】さらに、本光分岐/挿入装置には、上記の光分岐部からの分岐光を入力とし、上記の反射波長可変型光反射部がもつ反射位置特性とは逆の反射位置特性をもった逆光反射部が設けられていてもよい。なお、上記の「反射位置特性」は、上記の反射波長可変型光反射部での可変光反射デバイスの接続順に応じて決まる(請求項4)。

【0026】さらに、本光分岐/挿入装置には、上記の光分岐部からの分岐光、上記の反射波長可変型光反射部を通過した通過光及び上記の光挿入部からの波長多重光のうちの一部もしくは全てのスペクトルをモニタするモニタ手段が設けられていてもよく、この場合、上記の反射波長制御部は、上記モニタ手段でのスペクトルモニタ結果に基づいて上記の反射波長の制御を行なうように構成されていてもよい(請求項5)。

## 【0027】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は本発明の一実施形態に係る光分岐/挿入装置としてのOADMの構成を示すブロック図で、この図1に示すOADM1は、その要部に着目すると、光アンプ2、10、光サーキュレータ(CIR)3、可変ブラッグ反射フィルタ(T-BRF:Tunable-Brag Reflection Filter)部4、光カプラ5、9、11、可変光減衰器(VAT)6、光シャッタ(ST)7、12、光合波部(光カプラ)8、波長分離部13、ドロップ(分岐)波長(n波長)分の光受信機14-1～14-n、スペクトラムアナライザ(SA)15～17、アド(挿入)波長(n波長)分の光送信機18-1～18-n、可変光減衰器19-1～19-n、波長多重部20及びコントローラ21をそなえて構成されている。

【0028】なお、この図1において、太実線で表わしたライン(符号3aや3bなど参照)は、いずれも、光伝送が行なわれる光学経路(光ライン)を表わし、細実線で表したラインは電気信号での伝送が行なわれる電気経路を表わす。また、符号22、23はいずれも光(ファイバ)伝送路を表わす。ここで、上記の光アンプ2は、光伝送路22からの受信WDM光を所要の光レベル(パワー)にまで一括(共通)増幅(前置増幅)するためのものであり、光サーキュレータ3は、この光アンプ2の出力(光ライン3aからのWDM光)を可変ブラッグ反射フィルタ部4側(光ライン3b)へ出力する一方、可変ブラッグ反射フィルタ部4側(光ライン3b)から入力される光を光ライン3cへ出力する特性をもつ

た光デバイスである。

【0029】また、T-BRF部（反射波長可変型光反射部）4は、光サーキュレータ3からのWDM光に多重されている複数の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ （ただし、Nは $N > n$ を満足する2以上の整数）から任意の1つの波長あるいは複数（最大でn）波長の光のみを反射するもので、本実施形態では、後述するようにコントローラ21からの印加電圧に応じてその反射波長を変更できるようになっている。

【0030】なお、このT-BRF部4による反射光は光サーキュレータ3で光ライン3cへドロップ光として出力され、反射されなかった残りの波長の光は通過（スルー）光として光カプラ5側へ出力される。つまり、上記の光サーキュレータ3は、可変反射部4による反射光をWDM光のドロップ光として取り出す光分岐部としての役割を果たしているのである。

【0031】さらに、光カプラ5は、T-BRF部4からのスルー光の一部をスペクトラムアナライザ15への入力光（モニタ光）として取り出すためのものであり、可変光減衰器6は、コントローラ21からの制御信号に従ってスルー光の光レベル（減衰量）を調整することにより、後段の光合波部8への入力光レベルを調整するためのものであり、光シャッタ（通過光出力禁止部）7は、T-BRF4と光合波部8との間に設けられて、コントローラ21からの制御信号に従ってそのON/OFF状態が切り替えられることによって、スルー光の光合波部8への出力を許可/停止（禁止）するためのものである。

【0032】また、光合波部（光挿入部）8は、T-BRF部4で反射されずに通過してきた上記のスルー光と、波長多重部20からのアド光とを合波（波長多重）することにより、スルー光にアド光を付加して送信WDM光として出力するためのものであり、光カプラ9は、この光合波部8の出力の一部をスペクトラムアナライザ16へのモニタ光として取り出すためのものであり、光アンプ10は、この光カプラ9からの送信WDM光を伝送距離に応じた所定の光レベルにまで一括（共通）増幅するためのもので、増幅後の送信WDM光は光伝送路23へ出力される。

【0033】さらに、光カプラ11は、光サーキュレータ3からのドロップ光の一部を取り出してスペクトラムアナライザ17へのモニタ光として出力するためのものであり、光シャッタ（分岐光出力禁止部）12は、上記の光シャッタ7と同様に、コントローラ21からの制御に従ってそのON/OFF状態が切り替えられることによって、ドロップ光の波長分離部13への出力を許可/停止（禁止）するためのものである。

【0034】また、波長分離部13は、光シャッタ12からのドロップ光を1波毎に波長分離するためのものであり、光受信機14-i（ただし、 $i = 1 \sim n$ ）は、そ

れぞれ、この波長分離部13で1波毎に波長分離された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のうち、対応する波長の光を受信して光電変換などの所定の受信処理を実施するためのものである。

【0035】さらに、スペクトラムアナライザ15~17は、それぞれ、対応する上記の光カプラ5, 9, 11から入力されるモニタ光のスペクトラムを解析して、その解析結果（スペクトラムモニタ結果）を上記のT-BRF部4の反射波長制御や可変光減衰器6, 19-iの減衰量制御のための情報としてコントローラ21へ出力するものである。

【0036】つまり、これらのスペクトラムアナライザ15~17は、光サーキュレータ3からのドロップ光、T-BRF部4を通過したスルー光及び光合波部8からの送信WDM光の全てのスペクトルをモニタするモニタ手段を形成しており、このモニタ手段でのスペクトルモニタ結果に基づいてコントローラ21がT-BRF部4の反射波長の制御を行なうようになっているのである。なお、その制御の詳細については後述する。

【0037】次に、上記の光送信機18-iは、それぞれ、励起レーザなどによって上記スルー光に多重（アド）すべきドロップ波長に対応する波長のアド光を生成・出力するためのものであり、可変光減衰器19-iは、それぞれ、対応する光送信機18-iからのアド光の光レベルを波長多重部20及び光合波部8での波長多重に適したレベルに調整するためのものである。なお、これらの可変光減衰器19-iも、コントローラ21からの制御信号に従って制御されるようになっている。

【0038】また、波長多重部20は、これらの光可変減衰器19-iによる光レベル調整後のアド光を波長多重して上記の光合波部8へ出力するものである。そして、コントローラ21は、本OADM1の動作（アド/ドロップ動作）を集中制御するもので、本実施形態では、その要部の機能に着目すると、次のような機能部を有している。

【0039】（1）ドロップ対象の波長に応じてT-BRF部4の反射波長を制御する反射波長制御部21aとしての機能。具体的には、ドロップ対象の波長の光のみが正確にドロップされるようスペクトラムアナライザ15~17での上記解析結果に基づいてこの反射波長制御を行なう。

（2）電源投入時などにおいて光シャッタ7, 12を制御してスルー光、ドロップ光の出力を停止するための光シャッタ制御部21bとしての機能。

【0040】（3）スペクトラムアナライザ15, 16での上記解析結果（つまり、スルー光、送信WDM光の各スペクトラムモニタ結果）に基づいて可変光減衰器6, 19-iの減衰量をそれぞれ調整して、光合波部8でのスルー光とアド光との合波レベル（パワー）及び送信WDM光のレベルを最適な状態に調整するための可変

光減衰器制御部21cとしての機能。

【0041】さて、次に、上記のT-BRF部4の構成について詳述する。図2は上記のT-BRF部4を模式的に示す平面図、図3はこの図2に示すA-A矢視断面を部分的に拡大して示す模式図で、これらの図2及び図3に示すように、本実施形態のT-BRF部4は、入力光(WDM光)を導波するコア層40aとこのコア層40aの両面部に設けられたクラッド層40b、40cとを有して成る光導波路40と、この光導波路40の一方(クラッド層40b側)の面部に光導波路40と交差するよう間隔 $x_1$ 毎にボンディング(接合)された幅 $x_0$ をもつ線路状の複数の電極41-iと、他方(クラッド層40c側)の面部に接合された基板状の電極42とをそ

なえて構成されている。  
【0042】そして、上記の光導波路40のコア層40aには、図3中に示すように、ドロップ対象の波長 $\lambda_i$ に対応してグレーティング43-iが形成されており、それぞれのグレーティング43-iにて、コア層40aを伝播するWDM光のうち特定波長の光のみが散乱して高効率で反射されるようになっている。つまり、グレーティング43-iの形成された部分の光導波路40がそれぞれブラッグ反射フィルタ(T-BRF)40-i(図4参照)を形成していることになる。

【0043】ここで、上記の電極41-iに電圧を印加して、グレーティング43-iの形成された部分の光導波路40に対して電界を加えると、その電界によってその部分の光導波路40の屈折率が変化し、それに応じてグレーティング43-iでの反射波長も変化する。実際には、10nm(ナノメートル)~105nm程度の可変幅が実現可能である。

【0044】なお、上記の電極41-iの幅 $x_0$ は、図3中に示すように、いずれもグレーティング長 $L$ よりも大きく(この場合は、 $2 \times \Delta x_0$ 分だけ)設定されている。これは、電極41-iに電圧を印加したときに電極41-iの縁端部分で生じる電界が一様にならないことで、グレーティング43-iにおける反射波長 $\lambda_i$ にずれが生じることを防止するためである。

【0045】以上のように、本T-BRF部4は、入力されたWDM光に対する反射波長がそれぞれ印加電圧によって可変の複数のT-BRF(可変光反射デバイス)40-iが相互に直列接続されて構成されており、上述したコントローラ21(反射波長制御部21a)から電極41-iに対する印加電圧を変更することによって、T-BRF40-iの反射波長を変更して任意の波長の光をドロップ(スルー)することが可能になっている。

【0046】ただし、WDMでは、このように反射波長(つまり、ドロップ/スルー波長)を変更する場合、反射波長以外の他の波長に影響を与えてはならない(これをノンブロッキング条件という)。そこで、各T-BRF40-iには、例えば図5に模式的に示すように、電

極41-iに対して印加電圧が無い状態(非ドロップ時)での反射波長(以下、デフォルト反射波長という) $\lambda_i'$ がドロップ光の波長グリッド間に位置する(つまり、 $\lambda_{i-1} < \lambda_i' < \lambda_i$ となる)ようにそれぞれグレーティング43-iを形成しておき、ドロップしたい波長 $\lambda_i$ を含む波長グリッド間にデフォルト反射波長 $\lambda_i'$ が設定されたT-BRF40-iに対応する電極41-iのみに電圧を印加してそのT-BRF40-iのデフォルト反射波長 $\lambda_i'$ をドロップ波長 $\lambda_i$ に変更すれば、上記ノンブロッキング条件を満足することができる。

【0047】即ち、例えば、波長 $\lambda_1$ の光をドロップしたい場合は電極41-1に所定電圧を印加してT-BRF40-1のデフォルト反射波長 $\lambda_1'$ を波長 $\lambda_1$ に変更し、波長 $\lambda_2$ の光をドロップしたい場合は電極41-2に所定電圧を印加してT-BRF40-2のデフォルト反射波長 $\lambda_2'$ を波長 $\lambda_2$ に変更するといった具合である。

【0048】このようにデフォルト反射波長 $\lambda_i'$ を波長グリッド間に設定すれば、ドロップ光(波長 $\lambda_i$ )以外のスルー光[波長 $\lambda_k$ ( $k=1 \sim n$ で $k \neq i$ )]のそれぞれの近傍に雑音光として生じるASEを除去することも可能になる。なお、この場合は、1つのT-BRF40-iを1つの波長 $\lambda_i$ に専用とした場合であるが、1つのT-BRF40-iをデフォルト反射波長 $\lambda_i$ の両サイドの2波長 $\lambda_i$ 、 $\lambda_{i+1}$ に兼用としてもよい。兼用にした場合は、ドロップ波長は1波おきになる。

【0049】ただし、上記のように波長グリッド間にそれぞれデフォルト反射波長 $\lambda_i'$ が位置するようにグレーティング43-iを形成したT-BRF40-iを作ることは製造性が良くない。また、それらを多段にアレイ化すると製造性はさらに悪化するため、コストが高くなる。そこで、より安価に製造するため、各T-BRF40-iのデフォルト反射波長は一律(例えば、 $\lambda'$ )にしておき、印加電圧によって上記ノンブロッキング条件を満足するよう調整してもよい。

【0050】即ち、各T-BRF40-iを、それぞれ、非電圧印加時において同じ反射波長 $\lambda'$ を有し、印加電圧に応じてその反射波長が変更されるようにしておき、コントローラ21(反射波長制御部21a)から、非ドロップ時においてはT-BRF40-iの反射波長 $\lambda'$ がそれぞれWDM光の異なる波長グリッド間に位置し、ドロップ時においてはドロップ対象の波長を含む波長間に反射波長 $\lambda'$ が位置するT-BRF40-iに所定電圧を印加して反射波長 $\lambda'$ をドロップ対象の波長 $\lambda_i$ に変更するようにするのである。

【0051】このようにすれば、各T-BRF40-iに形成するグレーティング43-iは全て同じでよいので、製造性が大幅に向上するとともに、アレイ化が簡単に実現できる。なお、印加電圧によって制御可能な波長

範囲を超える場合は、例えば図6に示すように、それぞれ図2～図4により上述した基本構成を有し、非電圧印加時において異なるデフォルト反射波長をもった複数種類のT-BRF部4を多段接続すればよい。

【0052】ただし、上記のような製造性を重視したT-BRF部4 (T-BRF40-i) の構成では、電源投入時において波長の衝突が発生する。このため、実用上のOADM1として使用する場合は、印加電圧によってノンブロッキング条件を満足するよう各T-BRF40-iの反射波長 $\lambda'$ の調整が済むまで、上述した光シャッタ7、12によってスルー光及びドロップ光の出力を停止させるようにする。これにより、OADM1の信頼性および安全性が向上する。

【0053】なお、波長グリッド間にそれぞれデフォルト反射波長 $\lambda_i'$ が位置するようにグレーティング43-iを予め形成したT-BRF40-iを作った場合には、上記の光シャッタ7、12は省略可能である。以上のようにT-BRF部4をT-BRF40-iの多段接続構成にすることで、スルー光は同じ光学経路を通過するため、WDM光を1波毎に分離する場合のような光学経路の違いによる波長毎の損失差(チルト)は発生しない。しかしながら、ドロップ光には、次のようなチルトが発生することになる。

【0054】即ち、図7に模式的に示すように、多段接続されたT-BRF40-iで反射される波長 $\lambda_i$ の光のうち、光サーキュレータ3に近い位置で反射される光と遠い位置で反射される光とでは、伝送する光学経路が異なりロスが違うことになる。このため、各光受信機14-iでの各波長 $\lambda_i$ の光パワーは均一でなくなるため好ましくない。

【0055】そこで、例えば図8に示すように、光サーキュレータ3のドロップ光側(光ライン3c上)に、光サーキュレータ3と同様の光サーキュレータ3'を設けるとともに、この光サーキュレータ3'の出力(光ライン3b')側に上記のT-BRF部4と同じものを逆向きに接続する。なお、このように逆向きに接続したものを以下ではT-BRF部4と区別するために「T-BRF部4'」と表記する。

【0056】このような構成を採ることにより、T-BRF部4において光サーキュレータ3に近い位置で反射された光ほど、T-BRF部4'においては光サーキュレータ3'から遠い位置で反射されることになり、結果として、ドロップ光の光学経路の違いによるロスのばらつきを吸収することが可能になる。つまり、上記のT-BRF部4'は、光サーキュレータ3からのドロップ光を入力とし、T-BRF部4でのT-BRF40-iの接続順に応じて決まるそのT-BRF部4がもつ反射位置特性とは逆の反射位置特性をもった逆光反射部として機能するのである。これにより、ドロップ光の波長 $\lambda_i$ 毎のパワーを一様にすることができ、伝送距離に応じて

一部の波長にのみエラーが生じるような現象を回避することができる。

【0057】以下、上述のごとく構成された本実施形態のOADM1の動作について、図9及び図10を参照しながら詳述する。まず、OADM1の電源が投入されると(図9に示すステップA1、図10に示すステップB1)、コントローラ21によって、ドロップ(スルー)方向についての立ち上げ制御(図9に示すステップA2～A8)と、アド方向についての立ち上げ制御(図10に示すステップB2～B5)が実施される。なお、電源投入時において、光シャッタ7、12はそれぞれOFF状態、可変光減衰器19-iはそれぞれ減衰量が無限大の状態(つまり、アド光の非出力状態)となっているものとする。

【0058】ここで、ドロップ(スルー)方向に着目すると、コントローラ21は、電源投入後、まず始めに、T-BRF部4(4')の温度制御回路(図示省略)を駆動して、T-BRF部4(4')の温度が一定になるよう制御する(温度変化による反射波長 $\lambda_i$ の変動を防止する; ステップA2)。次いで、コントローラ21は、WDM光の波長多重状態(波長多重数など)やドロップ(アド)対象の光波長 $\lambda_i$ についての情報設定を行ない(ステップA3)、スルー光用の可変光減衰器6の減衰量を無限大に制御する(ステップA4)。

【0059】かかる状態で、コントローラ21は、上記の情報設定内容に基づいてドロップ波長 $\lambda_i$ に対応するT-BRF40-iに対する印加電圧を制御してドロップ波長 $\lambda_i$ の光がT-BRF40-iにて反射されるようT-BRF部4(4')の電圧制御(反射波長制御)を行なう(ステップA5)。このとき、具体的に、コントローラ21は、スペクトラムアナライザ17によってモニタされるドロップ光パワーが最大となり、且つ、スペクトラムアナライザ15によってモニタされるスルー光パワーが最大(ドロップ光パワーが最小)となるように、上記の電圧制御を行なう。これにより、極めて正確にドロップ波長の光のみをT-BRF部4(4')にて反射させることが可能となる。

【0060】一方、このとき、アド方向の立ち上げ制御に着目すると、コントローラ21は、図10に示すように、電源投入後、まず、波長多重部20の温度制御回路(図示省略)を駆動して波長多重部20の温度が一定になるよう制御することによって、温度変化による波長多重状態の変動を防止し(ステップB2)、次いで、コントローラ21は、WDM光の波長多重状態(波長多重数など)やドロップ(アド)対象の光波長 $\lambda_i$ についての情報設定を行なう(ステップB3)。

【0061】そして、OADM1の電源投入後のウォームアップ完了が確認されると、コントローラ21は、光シャッタ7、12をそれぞれON状態に制御し(ステップA6)、スペクトラムアナライザ16でモニタされる

13

送信WDM光のスペクトルに基づいて、スルー光パワーとアド光パワーとの比率が適切な値（同じパワー）となり、送信WDM光パワーが予め設定された最適な状態（パワー）となるまで、帰還制御によって、可変光減衰器6, 19-iの減衰量を無限大の状態から徐々に減少させてゆき（スロープ制御；ステップA7, ステップB4）、その後は、上記の状態が維持されるよう上記帰還制御状態が維持される（ステップA8, ステップB5）。

【0062】このようにして、ドロップ（スルー）／アド波長の設定が完了すると、OADM1は運用状態となる。即ち、光アンプ2で増幅された光伝送路22からのWDM光は光サーキュレータ3を経由してT-BRF部4に入力され、このT-BRF部4においてドロップ波長 $\lambda_i$ の光が反射されて光サーキュレータ3に戻り、図8により上述したように光サーキュレータ3'及びT-BRF部4'を経由したのち、波長分離部13へ出力されて、1波毎に分離され光受信機14-iにて受信される。

【0063】一方、T-BRF部4にて反射されなかったスルー光は、光合波部8にて、波長多重部20からのアド光と合波されたのち、光アンプ10で規定の送信パワーにまで増幅されて光伝送路23へ送信される。そして、将来の通信需要の変化などによってドロップ（スルー）／アド波長 $\lambda_i$ に変更が必要となった場合は、該当T-BRF40-iに対する印加電圧を制御するだけで、従来のように光デバイスの交換や増設／減設などを必要とせず、その変更に対応することができる。

【0064】以上のようにして、低損失で、しかも、任意波長 $\lambda_i$ の光をその他の波長 $\lambda_k$ の光に影響を与えずにアド／ドロップすることのできるOADM1が実現される。なお、上記のスペクトラムアナライザ15～17は、T-BRF部4（4'）の反射波長の微調整や、装置環境の変化や経年変化などによって生じる反射波長のずれの補正などにも利用することができ、これにより、長期間の運用にも十分対応可能なOADM1を実現できる。

【0065】また、上述した例では、スペクトラムアナライザ15～17により、ドロップ光、スルー光および送信WDM光の全てをモニタしているが、これらの一部のみをモニタするようにしてもよい。即ち、例えば、スルー光用のスペクトラムアナライザ15は省略して、ドロップ光用のスペクトラムアナライザ17でモニタしたスペクトルによりドロップ波長 $\lambda_i$ のパワーピークが最大となるようにT-BRF部4（4'）の印加制御を制御してもよいし、逆に、ドロップ光用のスペクトラムアナライザ17は省略して、スルー光用のスペクトラムアナライザ15でモニタしたスペクトルによりドロップ波長 $\lambda_i$ に該当するパワーピークが最小となるようにT-BRF部4（4'）の印加制御を制御してもよい。ま

(8)

特開2002-156667

14

た、送信WDM光用のスペクトラムアナライザ16を省略することも可能である。

【0066】さて、ここで、一般に、WDM光の各波長の変調速度が10Gbps以上になると、分散補償を行なう必要があるため、分散補償器（一般にはDCF）が必要になる。この分散補償は、波長毎の群速度の差を補償することができればよいので、これについてもT-BRF部4の原理を利用すれば実現できる。即ち、各T-BRF40-iにおける反射波長 $\lambda_i$ の反射位置を微妙にずらすことで実現できる。例えば図11に示すように、光導波路40の一方の面部に必要な分散補償量に応じた複数の電極411を設け、これらの電極411間を、或る抵抗値rをもつように接続してT-BRF40'-iを構成し、その複電極44に或る電位差（ $|V_1 - V_2|$ ）をかけることで、光導波路40に対してスロープ状に電界を加えて反射波長と反射位置の関係を故意にずらすことができる。

【0067】このように構成したT-BRF40'-iは、特定波長の光が電極411に対応する複数の位置で反射されることになるので、上記電位差を制御して電界スロープ（分散スロープ）を調整すれば、1波長についての分散を補償することも可能になる。従って、例えば図12に示すように、このT-BRF40-iをドロップ波長数（n）分だけ多段に直列接続すれば、入力WDM光の各波長 $\lambda_i$ の分散をそれぞれ補償することが可能となる。

【0068】つまり、この場合のT-BRF40'-iは、印加電圧によって反射波長 $\lambda_i$ が可変の可変光反射デバイスとしての機能と、その波長の分散を補償する分散補償器としての機能とを兼用していることになる。従って、10Gbps以上の変調速度で変調されたWDM光について、DCFを個別に設けることなく、反射波長（ドロップ波長） $\lambda_i$ の光の分散を補償することが可能となり、分散補償可能なOADM1を小型且つ安価に実現することができる。また、この場合は、DCFを個別に設けることによる挿入損失もないので、低損失性も維持される。

【0069】以下、その具体的な実現手法について説明する。図13は分散補償器としても機能するT-BRF部4A（以下、分散補償T-BRF部4Aということがある）の構成を模式的に示す平面図、図14はこの図13に示す分散補償T-BRF部4AのB-B矢視断面を部分的に拡大して示す模式図である。

【0070】これらの図13及び図14に示すように、本分散補償T-BRF部4Aも、入力光（WDM光）を導波するコア層40aとこのコア層40aの両面部に設けられたクラッド層40b, 40cとを有して成る光導波路40をそなえとともに、この光導波路40の一方（クラッド層40b側）の面部に光導波路40と交差するよう間隔 $x_1$ 毎に設けられた複数の電極部44-i



と、他方（クラッド層40c側）の面部に接合された基板状の電極42とをそなえて構成されている。

【0071】そして、上記の電極部44-iは、図15に模式的に拡大して示すように、それぞれ所定の抵抗値を有する1本の電極411がつづら折り状に折り曲げられて形成されており、この電極411の折り曲げ部分が周期的にクラッド層40b側の面部にボンディングされて形成されている。なお、図14において、符号412は電極411間にむき出しになっているクラッド層40cを保護するための保護被膜を表わす。

【0072】このような構成を採ることで、図11及び図12に示す構成と等価の構成が実現される。なお、図14中に拡大して示すように、上記の電極411はそれぞれV字エッチング（カット）などによって形成することも可能である。ただし、この場合、V字エッチングの頂点は、コア層40aを伝播する光に影響を与えぬよう少なくともコア層40aとクラッド層40bの境界面から十分な距離を保つよう形成する必要がある。

【0073】また、他の構成法としては、例えば図16に示すように、或る抵抗値（率） $\rho$ をもつ導体410上に、電位をかける端部410a、410bを残して複数の電極411を周期的にボンディングすることが考えられる。このようにしても、図11及び図12に示す構成と等価の構成を実現することが可能である。なお、この図16においてV1～V5は導体410の両端部410a、410bに電位をかけたときに導体410上の電位がスロープ上に変化していることを表わしている。

【0074】また、この場合も、WDM光の波長多重数が多くなると図7により前述したように波長毎の光学経路の違いによってロスが異なり波長依存性の損失差（チルト）が生じるため、図8により前述したものと同様に、図17に示すように、分散補償T-BRF部4Aと同じものを逆に〔分散補償T-BRF部（分散補償逆光反射部）4Bとして〕光サーキュレータ3'を介して接続して、上記チルトをキャンセルするようにしてもよい。

【0075】さて、これまで、OADM1（アド／ドロップ／スルー機能）に限定して説明を行なったが、光クロスコネクタ機能を実現する場合においても、上述したようなT-BRFを利用して実現できる。即ち、図18（A）に示すように上述したT-BRF部4を用いて構成された複数（この場合は4つ）のOAD（Optical Add Drop）回路31A～31Dを、図18（B）に示すように、図19に示す構成を有する光クロスコネクタ回路32に対して接続して、光クロスコネクタ装置1'を光分岐／挿入装置の一種として構成する。

【0076】ここで、図19に示す光クロスコネクタ回路32において、32a～32cはそれぞれ光サーキュレータ3と同様の特性を有する光サーキュレータ、33は入力光を3分岐する光カプラを表わす。なお、本光ク

ロスコネクタ回路32の構成はOAD回路31Aとの接続関係に着目した構成であり、OAD回路31B～31Cとの接続関係に着目した構成も同様に構成されているものとする。

【0077】このような構成により、光クロスコネクタ回路32では、例えば、OAD回路31AのT-BRF部4で反射された反射（ドロップ）光が、入力ポート“D”を通じて光カプラ33に入力され、この光カプラ33にて3分岐されてそれぞれ光サーキュレータ32a～32c經由でT-BRF部4'へ入力され、そのT-BRF部4'で反射されて出力ポート“A”～“C”へ出力される。

【0078】そして、図18（B）に示すように、出力ポート“A”から出力された光は受信波長（チャンネル）として受信され、出力ポート“B”から出力された光はアド光としてOAD回路31Dの光カプラ8に入力され、出力ポート“C”から出力された光はアド光としてOAD回路31Bの光カプラ8に入力される。ここで、各T-BRF部4'に対する印加電圧を制御してT-BRF部4'での反射波長 $\lambda_i$ を制御すれば、任意の波長 $\lambda_i$ を出力ポート“A”～“C”へ出力することが可能になる。つまり、OAD回路31A～31Dへの入力光（WDM光）のうち任意の波長 $\lambda_i$ の光を任意の4方路のいずれかへクロスコネクタすることが可能となる。

【0079】しかも、この場合は、T-BRF部4を用いることで、低損失で将来の通信需要の変化によるクロスコネクタ波長（反射波長） $\lambda_i$ の変更に対しても、T-BRF部4に対する印加電圧制御のみで柔軟に対応することが可能である。なお、上記のT-BRF部4、4'は、分散補償器としても機能するT-BRF部4A、4Bに置き換えてもよい。このようにすれば、光クロスコネクタ装置1'においても、DCFなどを個別に設けずに、10Gbps以上の変調速度で変調されたWDM光にも対応できる。また、図18（A）に示すT-BRF部4（4A）についても、前述した図6や図8（図17）に示す構成にしてもよく、それぞれ、前記と同様の作用効果を得ることができる。

【0080】ところで、上記の出力ポート“A”からの光は、その局での受信のために各波長に分離する必要がある（例えば、前記のOADM1における波長分離部13に相当する回路が必要である）。このため、前述したAWG（アレイ導波路）フィルタなどを用いて波長毎に分離することも考えられるが、このようにパッシブなAWGフィルタなどの光デバイスを用いる場合、WDM光の波長多重数が100波長分であると仮定すると、100種類の波長のどの波長をドロップしてもよいように、100波長分の波長分離が可能な光デバイスを用意しなければならず、また、100波長分のドロップポートのために100個の光コネクタを用意しなければなら

くなる。従って、この部分だけでかなりの実装スペースを費やしてしまう。

【0081】しかし、実際にOADM1や光クロスコネクタ装置1'としての機能を有するノードを用いて構成されるWDMネットワークにおいて、WDM光の最大波長多重数が100波長であったとすると、通常、各ノードでドロップすべき波長数は、100波長よりも少ない波長数でよい。なお、このことは、アド側においても同様である。

【0082】つまり、例えば、各ノードの最大アド／ドロップ波長数を仮に最大16波長とすれば、T-BRF部4での反射波長を任意に変更できることから、その16波長分の分離ができ16ポート分の光コネクタを用意すれば良いことになる。そこで、例えば図20に示すように、波長分離部13a及び波長多重部20a（図1に示すOADM1では波長分離部13及び波長多重部20に相当）をそれぞれ、必要波長数分（16個）の光サーキュレータ34を介してT-BRF部4'をカスケード接続した構成にすれば、必要なアド／ドロップ波長数のみの光コネクタを配置すればよくなる。

【0083】これにより、波長多重／分離に必要な回路規模をAWGフィルタなどのパッシブな光デバイスを用いる場合に比して大幅に縮小することができて、光クロスコネクタ装置1'やOADM1の大幅な小型化を図ることができる。なお、図20に示す構成においても、T-BRF部4や4'は、T-BRF部4A、4Bに置き換えて、分散補償機能をもたせるようにしてもよい。また、波長分離部13a（13）や波長多重部20a（20）に用いるT-BRF部4'（4B）については必ずしも反射波長が可変のものである必要はなく、固定のも

【0084】・その他

上述した実施形態では、T-BRF部4（4'、4A、4B）が複数波長対応になっているが、アド／ドロップ対象の光が1波のみであれば、1波対応のものでよい。つまり、T-BRF部4（4'、4A、4B）には、T-BRF40-i（40'-i）が1つだけ設けられてい

ればよい。

【0085】また、上述した実施形態では、T-BRF部4AのT-BRF40'-iが、可変光反射デバイスとしての機能と、その波長の分散を補償する分散補償器としての機能とを兼用しているが、勿論、分散補償機能に特化して使用することも可能である。そして、本発明は上述した実施形態に限定されず、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

【0086】・付記

【付記1】 入力された波長多重光に対する反射波長が可変の反射波長可変型光反射部と、該反射波長可変型光反射部による反射光を該波長多重光の分岐光として取り出す光分岐部と、該反射波長可変型光反射部で反射され

ずに通過してきた通過光に、該分岐光に対応する波長の光を挿入光として付加する光挿入部と、該反射波長可変型光反射部の反射波長を光分岐対象の波長に制御する反射波長制御部とをそなえたことを特徴とする、光分岐／挿入装置。

【0087】【付記2】 該反射波長可変型光反射部が、それぞれ該波長多重光に対する反射波長が可変で該波長多重光の波長多重数に応じた複数の可変光反射デバイスが相互に直列接続されて構成されるとともに、該反射波長制御部が、該光分岐対象の波長に対応する可変光反射デバイスの反射波長を該光分岐対象の波長に制御するように構成されたことを特徴とする、付記1記載の光分岐／挿入装置。

【0088】【付記3】 該可変光反射デバイスが、それぞれ、非電圧印加時において該反射波長が該波長多重光の異なる波長間に位置し、印加電圧に応じて該反射波長が変更される可変ブラッグ反射フィルタとして構成されるとともに、該反射波長制御部が、光分岐時において該光分岐対象の波長を含む波長間に該反射波長が位置する可変ブラッグ反射フィルタに電圧を印加して該反射波長を該光分岐対象の波長に変更するように構成されていることを特徴とする、付記2記載の光分岐／挿入装置。

【0089】【付記4】 該可変光反射デバイスが、それぞれ、非電圧印加時において同じ反射波長を有し、印加電圧に応じて該反射波長が変更される可変ブラッグ反射フィルタとして構成されるとともに、該反射波長制御部が、非光分岐時において該可変ブラッグ反射フィルタの該反射波長がそれぞれ該波長多重光の異なる波長間に位置し、光分岐時において該光分岐対象の波長を含む波長間に該反射波長が位置する可変ブラッグ反射フィルタに電圧を印加して該反射波長を該光分岐対象の波長に変更するように構成されていることを特徴とする、付記2記載の光分岐／挿入装置。

【0090】【付記5】 該分岐光の出力を禁止する分岐光出力禁止部が設けられたことを特徴とする、付記4記載の光分岐／挿入装置。

【付記6】 該反射波長可変型光反射部と該光挿入部との間に、該通過光の出力を禁止する通過光出力禁止部が設けられたことを特徴とする、付記4記載の光分岐／挿入装置。

【0091】【付記7】 該光分岐部からの該分岐光を入力とし、該反射波長可変型光反射部での該可変光反射デバイスの接続順に応じて決まる該反射波長可変型光反射部がもつ反射位置特性とは逆の反射位置特性をもった逆光反射部が設けられたことを特徴とする、付記2～6のいずれか1項に記載の光分岐／挿入装置。

【付記8】 該光分岐部からの該分岐光、該反射波長可変型光反射部を通過した通過光及び該光挿入部からの波長多重光のうちの一部もしくは全てのスペクトルをモニタするモニタ手段が設けられるとともに、該反射波長制

御部が、該モニタ手段でのスペクトルモニタ結果に基づいて該反射波長の制御を行なうように構成されたことを特徴とする、付記 2～7 のいずれか 1 項に記載の光分岐／挿入装置。

【0092】〔付記9〕 該可変光反射デバイスに、波長依存性の反射位置特性をもたせたことを特徴とする、付記2～8のいずれか1項に記載の光分岐／挿入装置。

〔付記 10〕 該可変光反射デバイスが、それぞれ、該波長多重光を導波するとともに該反射波長の光を反射する光導波路と、該光導波路の近傍において該光導波路の導波方向にそれぞれ抵抗を介して相互に直列接続された複数の電極とをそなえて構成されるとともに、該反射波長制御部が、該複数の電極に対して所定の電位差をかけることで、該反射波長の光を該複数の電極に対応する複数の位置で反射させるように構成されたことを特徴とする、付記 9 記載の光分岐／挿入装置。

【0093】〔付記11〕 入力された波長多重光を導波するとともに或る波長の光を反射する光導波路と、該光導波路の近傍において該光導波路の導波方向にそれぞれ抵抗を介して相互に直列接続された複数の電極とをそなえて構成されたことを特徴とする、光反射デバイス。

【 0 0 9 4 】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、入力された波長多重光に対する反射波長が可変の反射波長可変型光反射部の反射波長を、光分岐対象の波長に応じて制御することによって、分岐光の波長を変更することができるので、通信需要の変化などによって分岐光波長に変更が生じても従来のように光反射デバイスの交換や増設／減設を要することなく、波長多重光信号から任意波長の光を自由に選んで分岐することができる。

【0095】ここで、上記の反射波長可変型光反射部に用いる可変光反射デバイスを、それぞれ、非電圧印加時において反射波長が上記波長多重光の異なる波長間に位置し、印加電圧に応じてその反射波長が変更される可変ブラッグ反射フィルタとして構成して、光分岐時において光分岐対象の波長を含む波長間に反射波長が位置する可変ブラッグ反射フィルタに電圧を印加してその反射波長を光分岐対象の波長に変更するようにすれば、低損失で、しかも、任意波長の光をその他の波長の光に影響を与えずに分岐することのできる光分岐／挿入装置が実現される。

【００９６】なお、上記の変光反射デバイスは、それぞれ、非電圧印加時において同じ反射波長を有し、印加電圧に応じて反射波長が変更される可変ブラッグ反射フィルタとして構成して、非光分岐時においてこれらの各可変ブラッグ反射フィルタの反射波長がそれぞれ上記波長多重光の異なる波長間に位置し、光分岐時において光分岐対象の波長を含む波長間に反射波長が位置する可変ブラッグ反射フィルタに電圧を印加してその反射波長を光分岐対象の波長に変更することもできる。このようにす

れば、可変ブラッグ反射フィルタの初期の反射波長は全て同じでよいので、反射波長が異なるものを個別に製造する場合よりも、その製造コストを大幅に削減することができる。

【0097】また、本発明では、分岐光の出力を禁止する第1光出力禁止部を設けてもよいし、反射波長可変型光反射部と光挿入部との間に、波長多重光の出力を禁止する第2光出力禁止部を設けてもよく、このようにすれば、電源投入時などにおいて上記の反射波長の衝突が起こってもそのときの分岐光や反射されずに通過する波長多重光を出力しないようにすることができるので、信頼性及び安全性の向上に大きく寄与する。

【００９８】さらに、本発明では、光分岐部からの分岐光を入力とし、上記の可変光反射デバイスの接続順に応じて決まる反射位置特性とは逆の反射位置特性をもった逆光反射部を設けてもよい。この逆光反射部を設けることで、反射波長の反射位置の違いによって分岐光に生じる波長毎の損失差を逆光反射部でキャンセルすることができるので、分岐光の波長毎のパワーを一様にすることができる。従って、伝送距離に応じて一部の波長にのみエラーが生じるような現象を回避することができる。

【0099】また、本発明では、光分岐部からの分岐光、反射波長可変型光反射部を通過した通過光及び光挿入部からの波長多重光のうちの一部もしくは全てのスペクトルをモニタして、そのスペクトルモニタ結果に基づいて上記の反射波長の制御を行なうようにしてもよく、このようにすれば、極めて正確に光分岐対象の波長の光のみを反射波長可変型光反射部にて反射させたり、光挿入部からの送信すべき波長多重光のパワーを最適な状態に調整したりすることができる。また、可変光反射デバイスの反射波長の微調整や、装置環境の変化や経年変化などによって生じうる反射波長のずれの補正などを行なうこともでき、長期間の運用にも十分対応可能な光分岐／挿入装置を実現できる。

【0100】なお、上記の変光反射デバイスには、波長依存性の反射位置特性をもたせてもよい。具体的には、例えば、光導波路の近傍において導波方向にそれぞれ抵抗を介して相互に直列接続された複数の電極に対して所定の電位差をかけて、上記反射波長の光を上記複数の電極に対応する複数の位置で反射させるようにする。このようにすれば、可変光反射デバイスにおいて、1波長についての分散を補償することも可能になり、分散補償も可能な光分岐／挿入装置を、分散補償ファイバなどを別個に設ける場合に比して、小型且つ安価に実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施形態に係る光分岐／挿入装置としてのOADMの構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示すチューナブルブラッグ反射フィルタ(T-BRF)部を模式的に示す平面図である。

【図 3】図 2 に示す T-BRF 部の A-A 矢視断面を部分的に拡大して示す模式図である。

【図 4】図 2 及び図 3 に示す T-BRF 部の構成を簡略化して示すブロック図である。

【図 5】図 3 に示すグレーティングのデフォルト反射波長の波長配置を説明するための図である。

【図 6】図 4 に示す T-BRF 部を多段接続した構成を示すブロック図である。

【図 7】図 4 に示す T-BRF 部においてドロップ光パワーに波長毎のチルトが発生することを説明するためのブロック図である。

【図 8】図 7 に示すドロップ光パワーのチルトをキャンセルするための構成を示すブロック図である。

【図 9】図 1 に示す OADM の動作（ドロップ／スルー方向）を説明するためのフローチャートである。

【図 10】図 1 に示す OADM の動作（アド方向）を説明するためのフローチャートである。

【図 11】本実施形態に係る分散補償機能をもった T-BRF 部の構成を模式的に示すブロック図である。

【図 12】図 11 に示す T-BRF 部を多段接続した構成を示すブロック図である。

【図 13】図 11 に示す T-BRF 部を実現する構成の一つを模式的に示す平面図である。

【図 14】図 13 に示す T-BRF 部の B-B 矢視断面を部分的に拡大して示す模式図である。

【図 15】図 13 に示す電極部を拡大して示す模式的平面図である。

【図 16】図 11 に示す T-BRF 部を実現する他の構成を説明するための模式的平面図である。

【図 17】図 11 に示す T-BRF 部において生じる波長毎の光パワーのチルトをキャンセルするための構成を示すブロック図である。

【図 18】(A), (B) はいずれも本実施形態に係る光クロスコネクタ装置の構成を示すブロック図である。

【図 19】図 18 に示す光クロスコネクタ回路の構成例を示すブロック図である。

【図 20】本実施形態に係る光クロスコネクタ装置 (OADM) の光波長多重分離機能に着目した構成を示すブロック図である。

【図 21】従来の OADM の構成例を示すブロック図である。

【図 22】従来の OADM の他の構成例を示すブロック図である。

【図 23】ブラッグ反射フィルタを用いた従来の OADM の構成を示すブロック図である。

# 【符号の説明】

1 OADM (Optical Add Drop Multiplexer ; 光分岐／挿入装置)

1' 光クロスコネクタ装置

2, 10 光アンプ

3 光サーキュレータ (光分岐部)

3', 32a~32c, 34 光サーキュレータ

3a~3c 光ライン

4 チューナブルブラッグ反射フィルタ (T-BRF) 部 (反射波長可変型光反射部)

4' チューナブルブラッグ反射フィルタ (T-BRF) 部 (逆光反射部)

4A (分散補償) T-BRF 部

4B (分散補償) T-BRF 部 (分散補償逆光反射部)

5, 9, 11, 33 光カプラ

6, 19-1~19-n 可変光減衰器

7 光シャッタ (通過光出力禁止部)

8 光合波部 (光カプラ ; 光挿入部)

12 光シャッタ (分岐光出力禁止部)

13, 13a 波長分離部

14-1~14-n 光受信機

15~17 スペクトラムアナライザ (モニタ手段)

18-1~18-n 光送信機

20, 20a 光波長多重部

21 コントローラ

21a 反射波長制御部

21b 光シャッタ制御部

21c 可変光減衰器制御部

22, 23 光伝送路

31A~31D OAD (Optical Add Drop) 回路

32 光クロスコネクタ回路

40 光導波路

40a コア層

40b, 40c クラッド層

40-1~40-n, 40'-1~40'-n チューナブルブラッグ反射フィルタ (T-BRF)

41-1~41-n, 42, 411 電極

43-1~43-n グレーティング

44 複電極

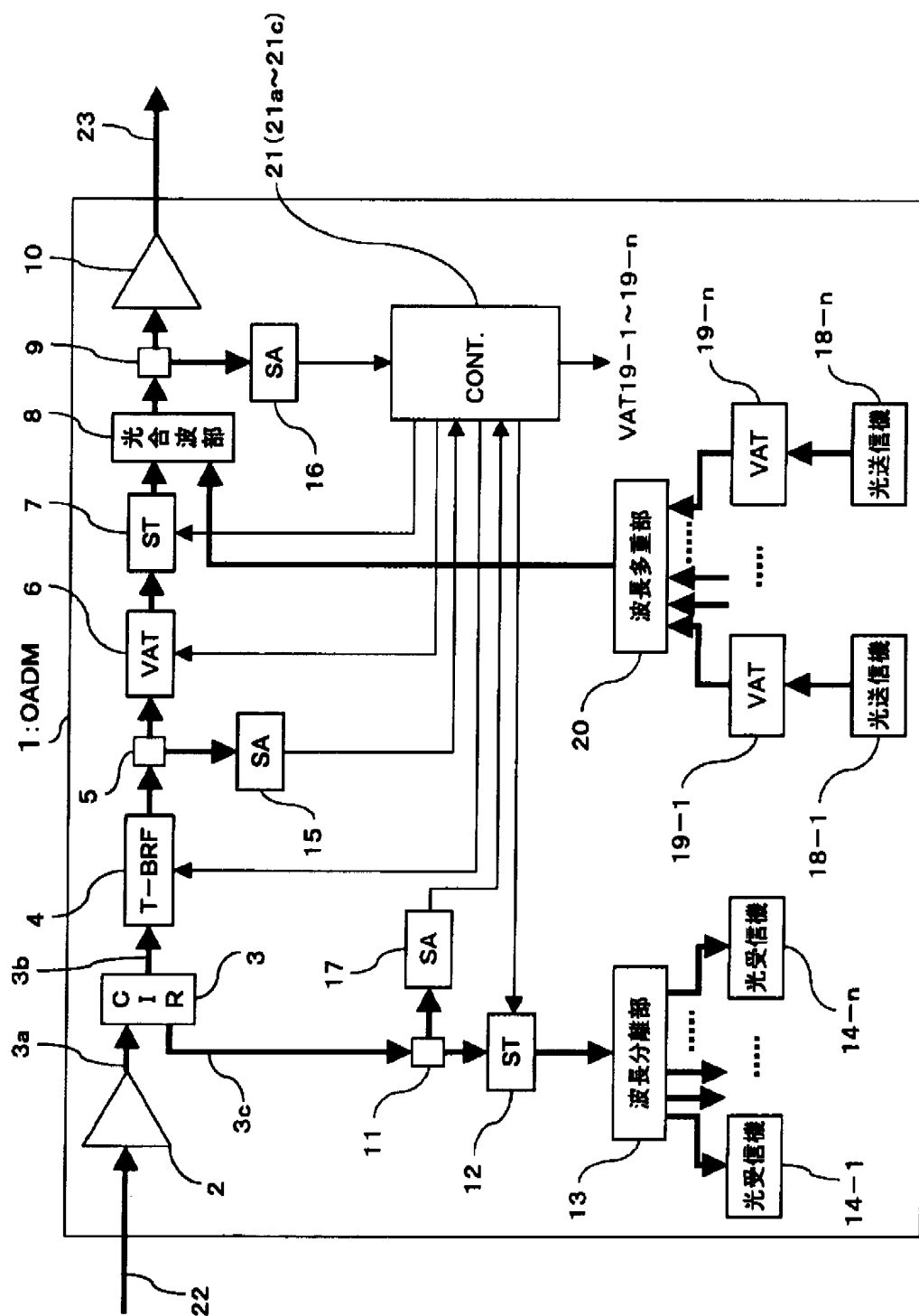
44-1~44-n 電極部

410 導体

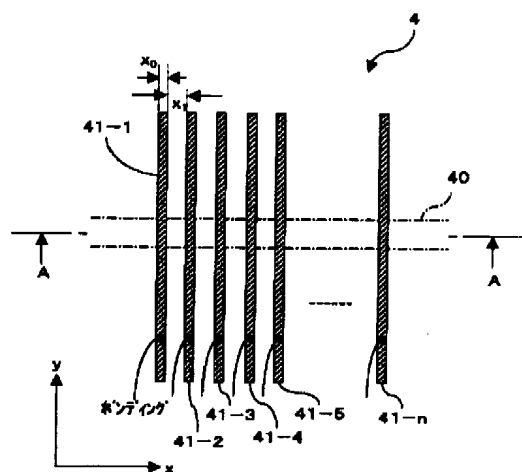
410a, 410b 端部

412 保護被膜

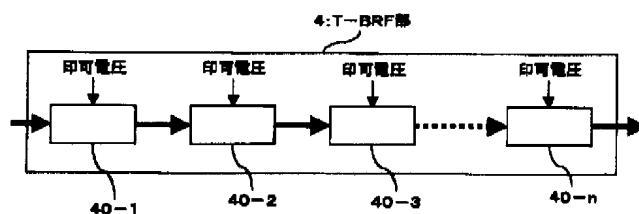
【図 1】



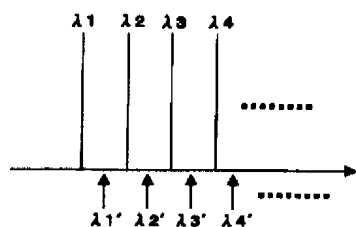
【図2】



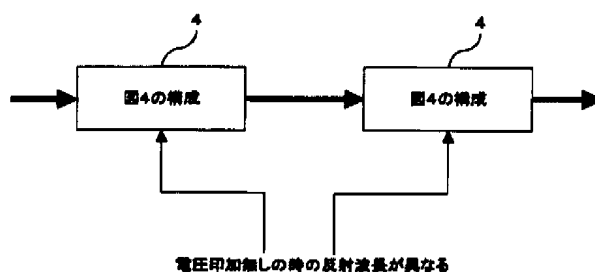
【図4】



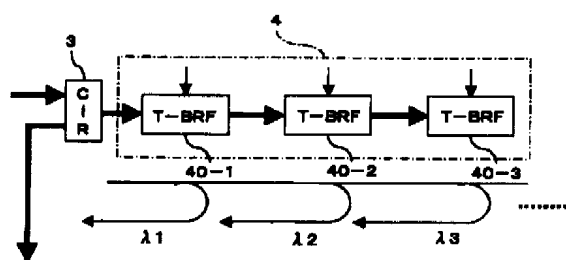
【図5】



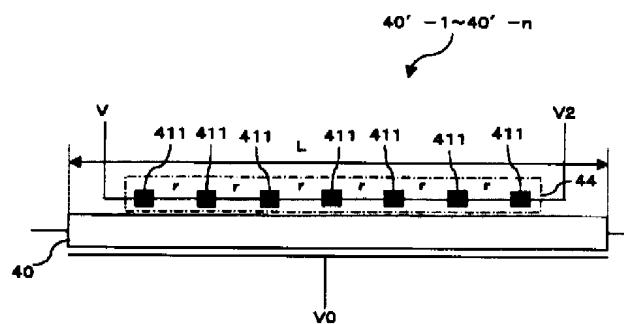
【図6】



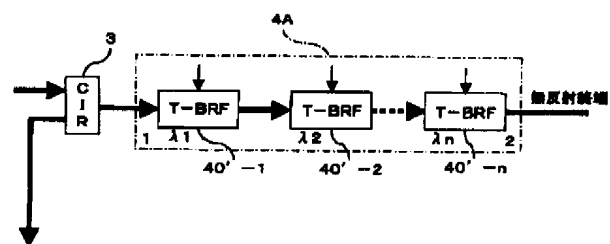
【図7】



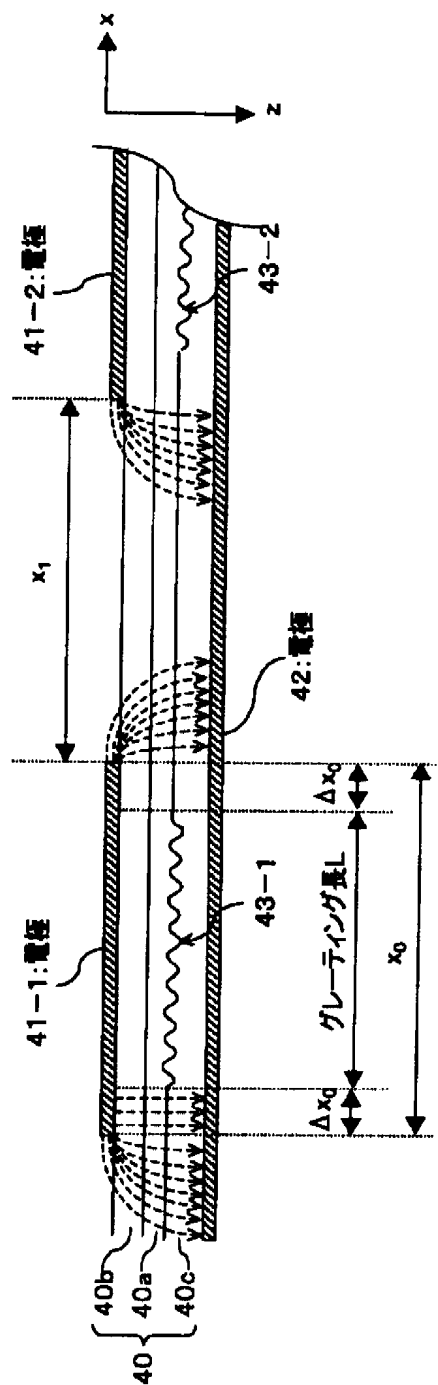
【図11】



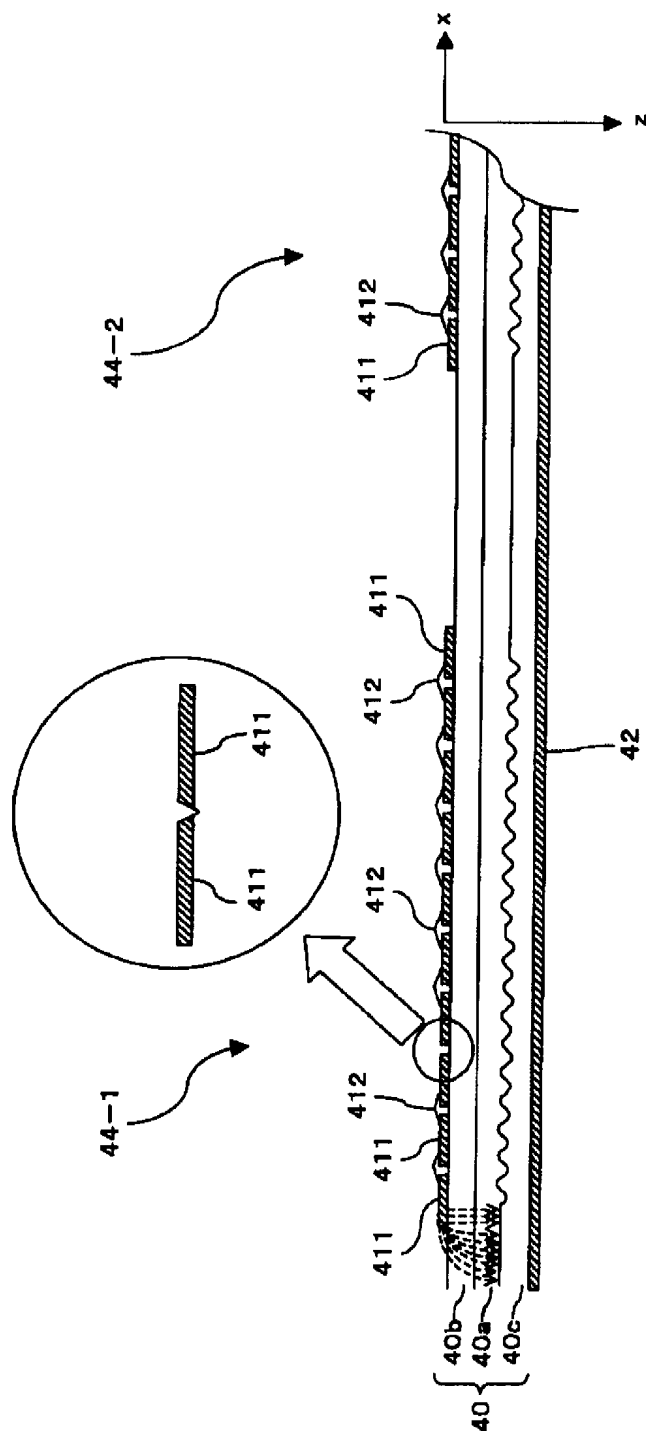
【図12】



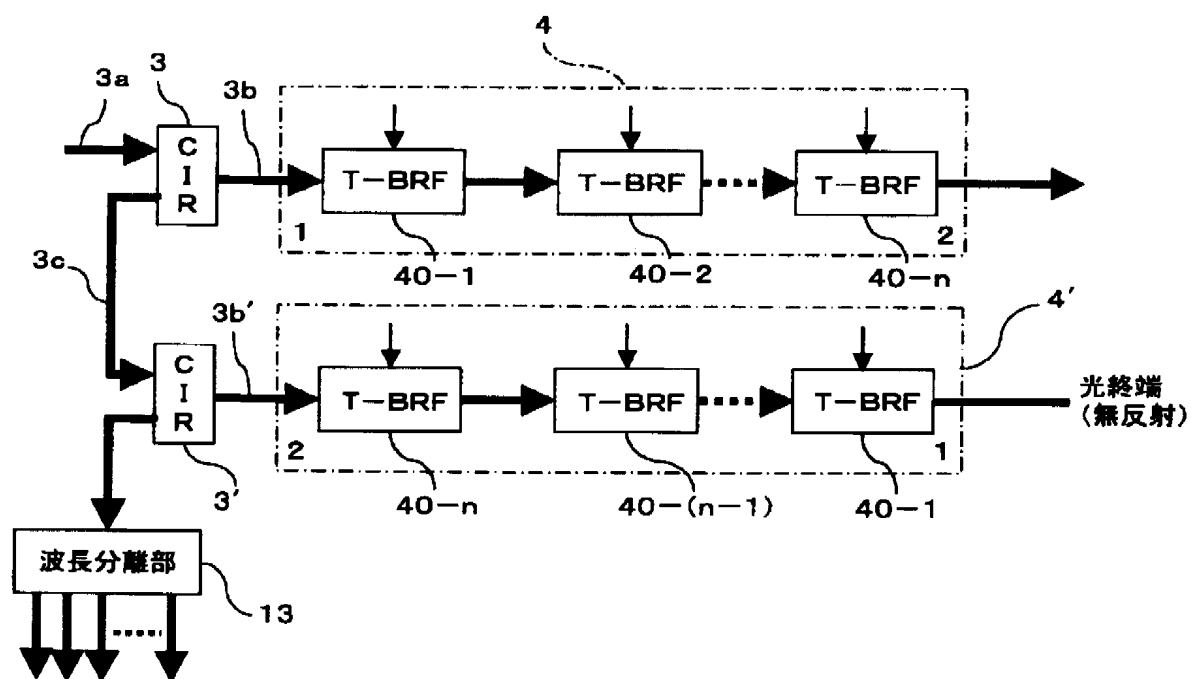
【図3】



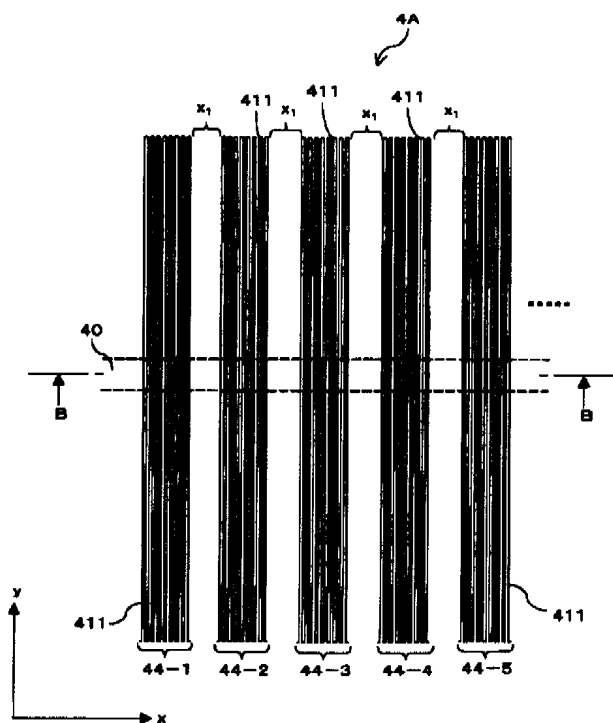
【図14】



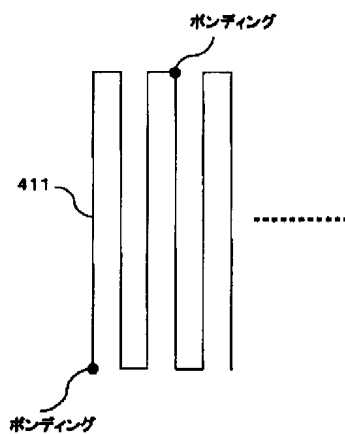
【図8】



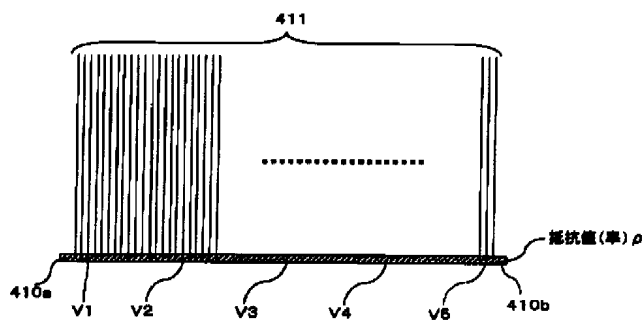
【図13】



【図15】

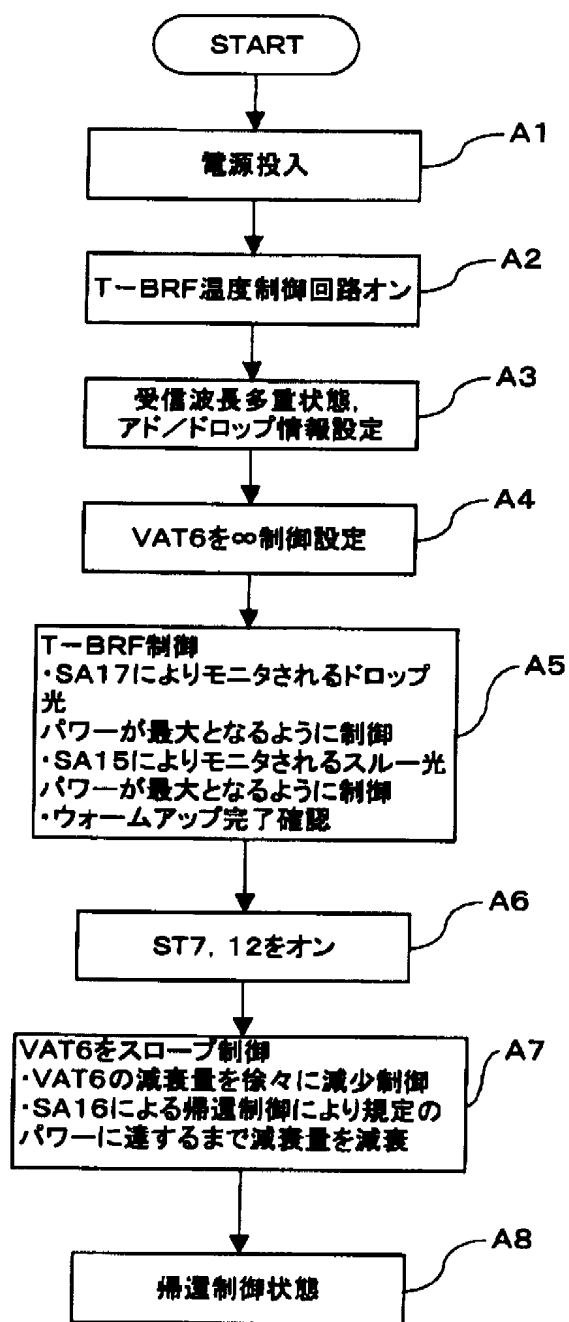


【図16】

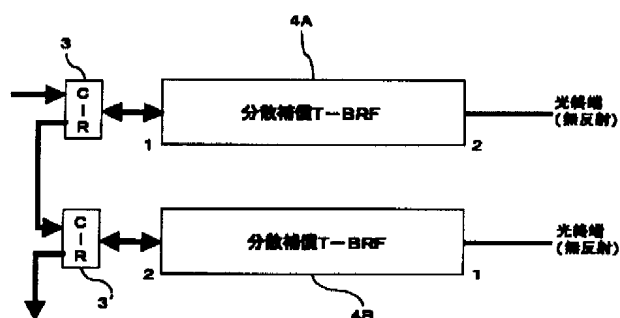




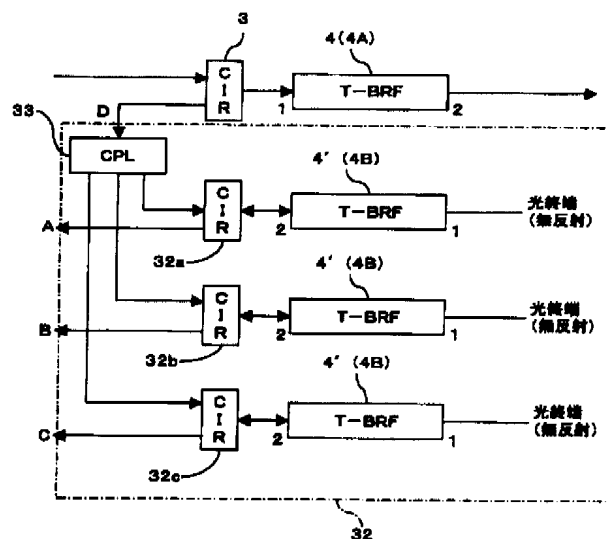
【図9】



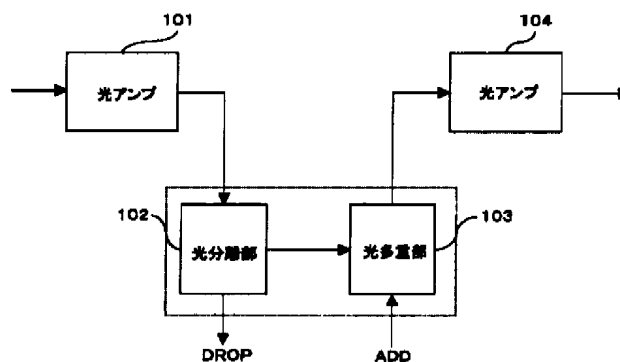
【図17】



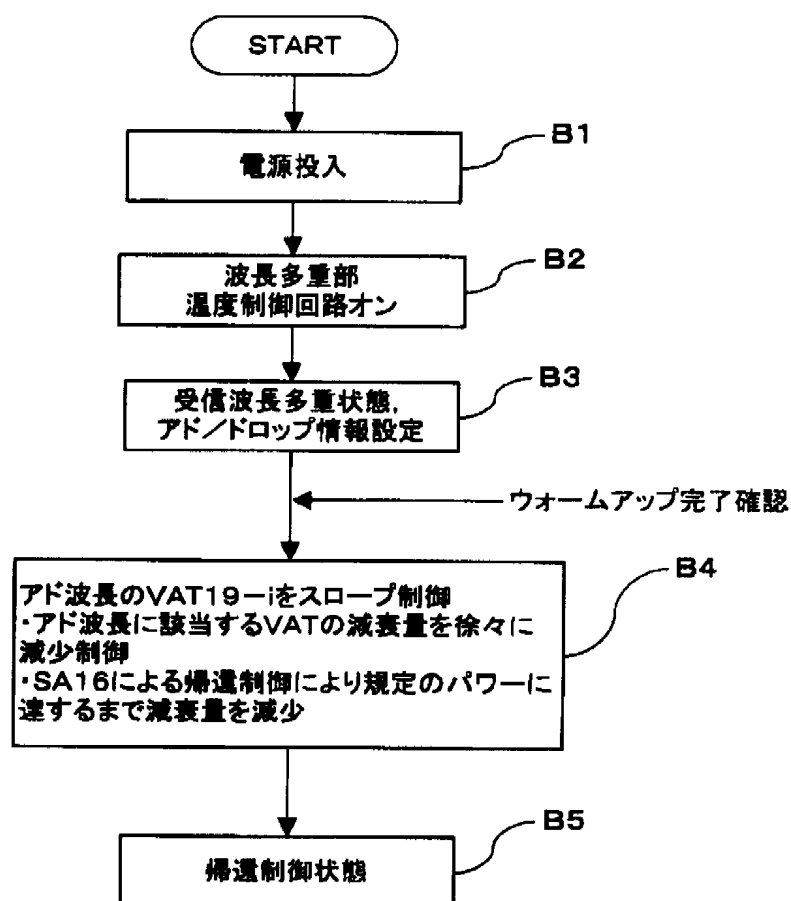
【図19】



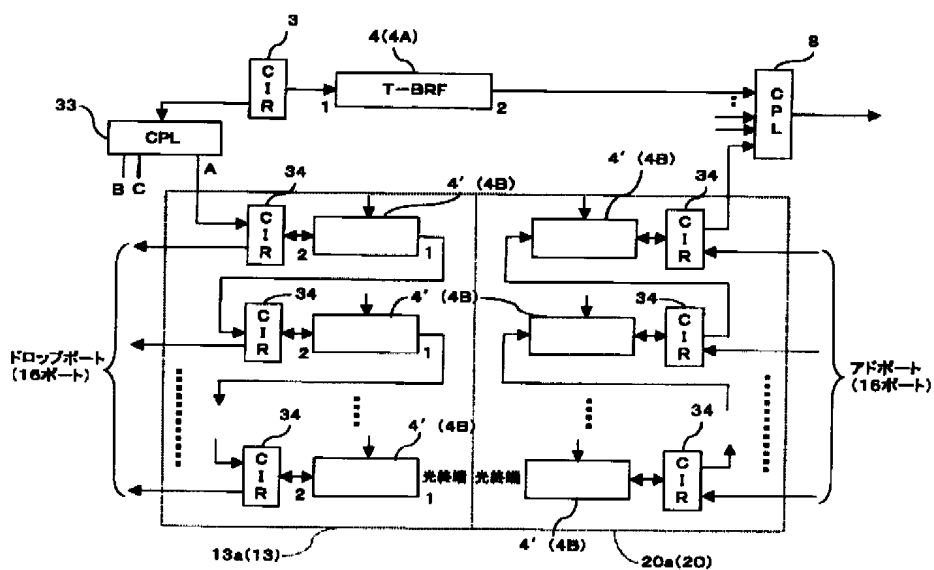
【図21】



【図10】

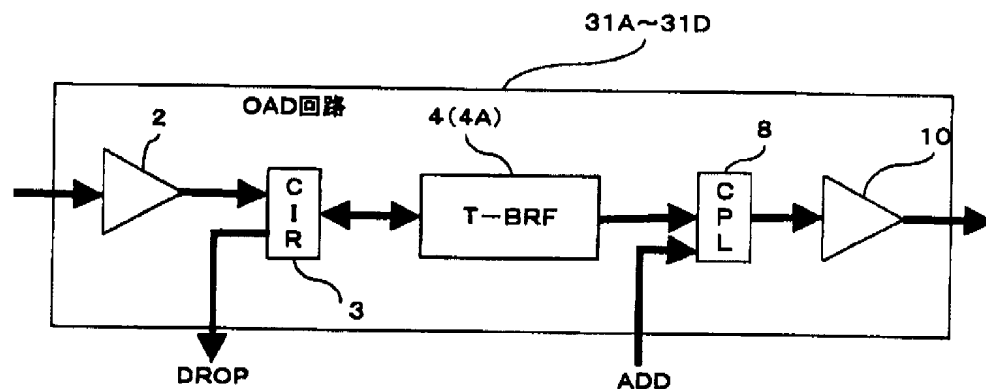


【図20】

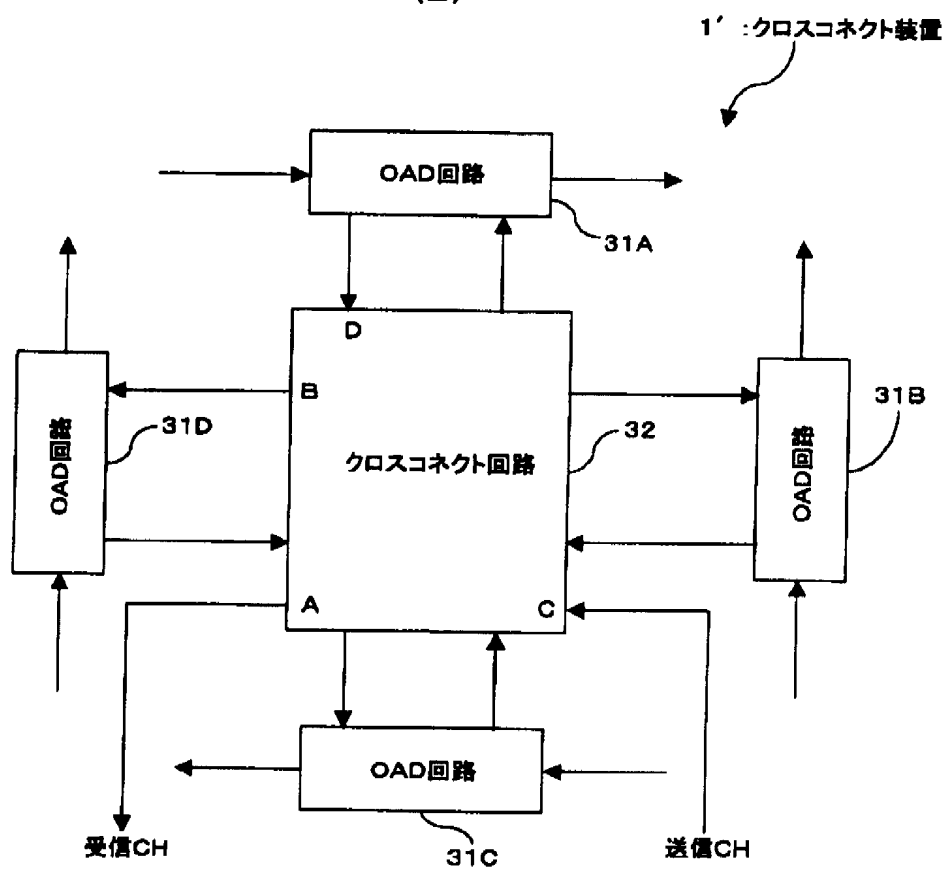


【図18】

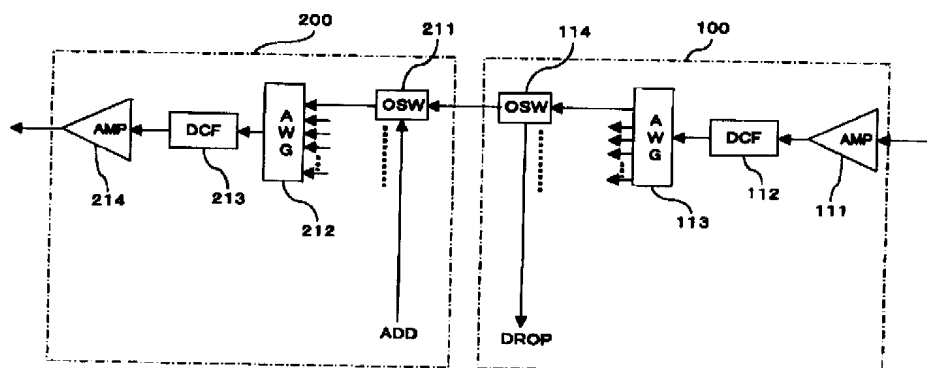
(A)



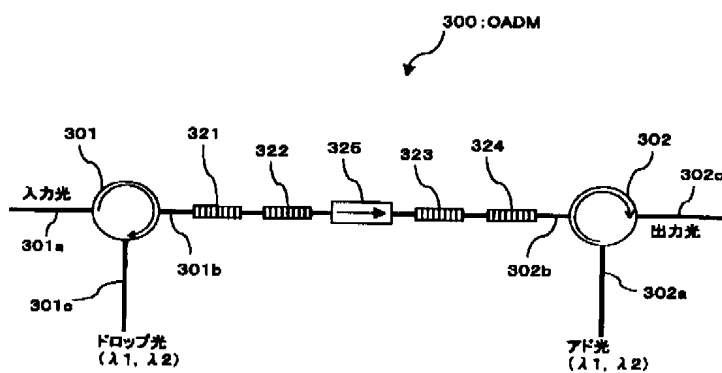
(B)



【図22】



【図23】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

H 0 4 J 14/02

F ターム (参考) 2H079 AA02 AA12 BA01 CA07 DA02  
 EA03 EB15 FA04 GA01 HA07  
 KA08 KA20  
 2K002 AA02 AB34 BA06 DA06 EA07  
 EB12 HA03  
 5K002 AA01 AA03 BA02 BA04 BA05  
 BA21 CA01 CA14 DA02 FA01